

B-573

5/10-71

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-5559

1034/2-71



А.И.Владимиров, В.А.Саенко, Ю.П.Третьяков

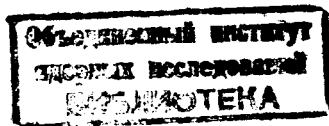
ИСТОЧНИК ИОНОВ  
С РАБОЧИМ ВЕЩЕСТВОМ  
В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

P13- 5559

А.И.Владимиров, В.А.Саенко, Ю.П.Третьяков

ИСТОЧНИК ИОНОВ  
С РАБОЧИМ ВЕЩЕСТВОМ  
В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

Направлено в ЖТФ



## В в е д е н и е

Успешное решение проблемы синтеза трансурановых элементов и исследование ядерных реакций, производимых тяжелыми ионами, развитие тонкопленочной и полупроводниковой технологии, необходимость получения сверхчистых материалов и ряд других научно-технических задач обуславливают непрерывно возрастающий интерес к источникам ионов, рабочее вещество которых находится в твердой фазе.

Для получения высокой степени ионизации вещества в таких источниках в единицу разрядного объема необходимо вкладывать достаточно большие мощности (согласно оценке, сделанной на основании работы<sup>/1/</sup>, не менее  $100 \text{ вт/см}^3$ ). Наиболее перспективным при этом, на наш взгляд, является использование несамостоятельных разрядов в магнитном поле с подводом энергии от пучка электронов. Для этих целей в настоящее время используется дуговой отражательный разряд<sup>/2,3/</sup>.

Нами разработан источник ионов твердых веществ на основе плазменно-пучкового разряда в магнитном поле<sup>/4/</sup>. Источник электронов вынесен из разрядной камеры и выполнен в виде электронной пушки. Рабочее вещество дается в разряд путем испарения электронным пучком материала коллектора электронов. В качестве рабочего вещества может быть использован практически любой материал: проводник, полупроводник и диэлектрик в широком интервале температур плавления.

### Конструкция источника

В верхнем штоке источника (рис. 1) размещена электронная пушка (1-3). Нить (1) служит источником электронов для подогрева электронной бомбардировкой катода (2) - плоского эмиттера из гексаборида лантана. Анодная диафрагма (3) из молибдена закрепляется на водоохлаждаемом держателе. Предусмотрена возможность регулировки расстояния катод-анод при сборке. Электронная пушка инжестирует в разрядную камеру (4) с каналом (7) квадратного сечения  $8 \times 8 \text{ мм}^2$  и высотой 150 мм пучок электронов диаметром 5 мм, который принимается на коллектор (5). Коллектор электронов крепится на водоохлаждаемом держателе (6) и размещается на расстоянии  $\sim 30 \text{ мм}$  от эмиссионной щели (8) размером  $1 \times 15 \text{ мм}$ . Рабочее вещество (9) загружается в углубление в коллекторе; либо коллектор целиком изготавливается из рабочего вещества. Штоки и разрядная камера также имеют водяное охлаждение (на рисунке не показано). Источник ионов помещается в однородное магнитное поле В электромагнита испытательного стенда<sup>/5/</sup>. Извлеченные из разряда и ускоренные ионы разделяются по отношению массы к заряду  $A/Z$  при повороте на  $180^\circ$  в магнитном поле. Ускоряющее напряжение  $10+15 \text{ кв}$ . Токи различных ионов принимаются на регистратор, перемещающийся вдоль фокальной плоскости и записываются на ленту самописца. Предельный вакуум установки  $P = 5 \cdot 10^{-6} \text{ торр}$ .

### Экспериментальные результаты

В первом цикле измерений определялись условия зажигания разряда. В эксперименте анод электронной пушки и стенки разрядной камеры были заземлены. Характерные зависимости тока на коллектор  $I_{\text{кол}}$  и вытягиваемого через эмиссионное отверстие суммарного ионного тока  $I_{\Sigma}$  от мощности электронного пучка  $W_k = I_k \times V_k$

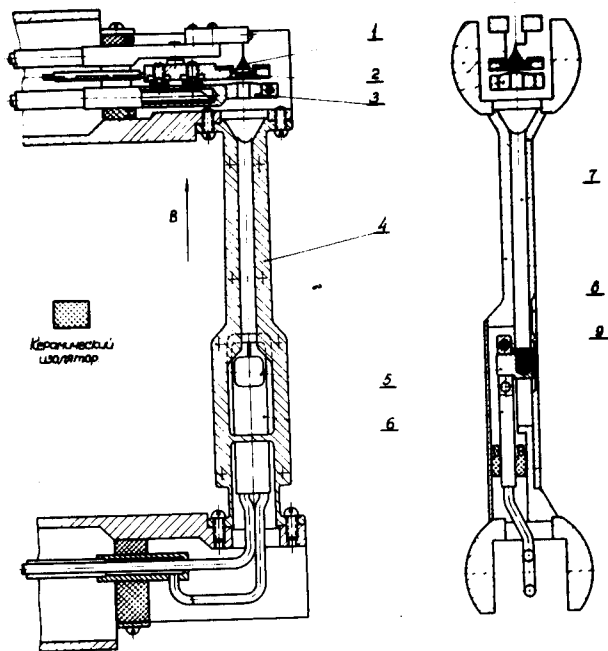


Рис. 1. Конструкция источника: 1 - нить, 2 - катод ( $LaB_6$ ), 3 - анод, 4 - разрядная камера, 5 - коллектор электронов, 6 - держатель коллектора, 7 - разрядный канал, 8 - эмиссионное отверстие, 9 - рабочее вещество.

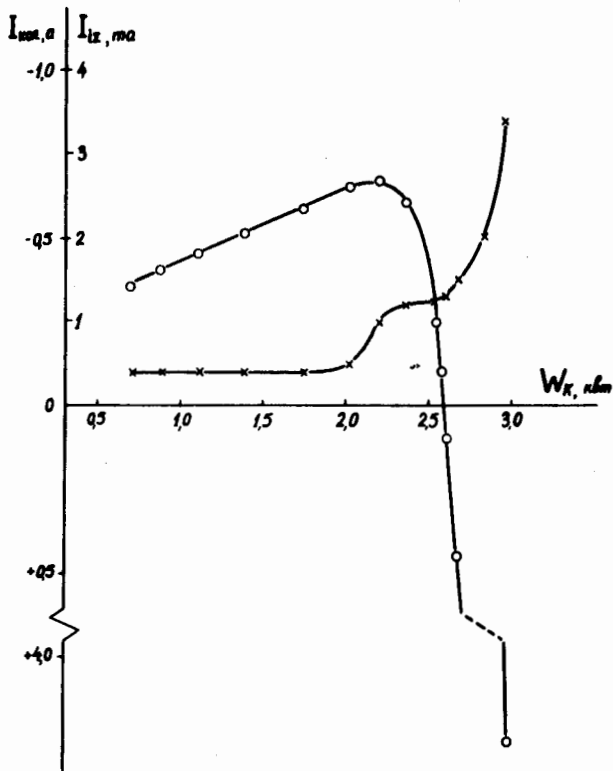


Рис. 2. Зависимости тока на коллектор и вытянутого ионного тока от мощности электронного пучка.  $o$  -  $I_{кол}$ ,  $x$  -  $I_{\Sigma}$ , рабочее вещество - вольфрам,  $V = 4$  кгс,  $V_{кол} = 0$  в.

(  $I_k$  - ток с катода,  $V_k$  - напряжение катод-анод) показаны на рис. 2. На приведенных кривых характерны два значения мощности  $W_k$ . Первое,  $W'_k \approx 2$  квт, соответствует резкому увеличению свечения в камере и извлекаемого ионного тока  $I_{1\Sigma}$ , что свидетельствует о зажигании разряда в парах рабочего вещества. Второе характерное значение мощности  $W''_k \approx 2,6$  квт соответствует переходу в область, где поток ионов на коллектор существенно больше потока электронов. Однако пучок электронов, который достигает коллектора, производит значительное испарение рабочего вещества, сопровождающееся увеличением извлекаемого ионного тока. Мощности  $W_k \gtrsim 3$  квт для данного рабочего вещества соответствовал скачкообразный переход разряда в дуговой.

Основное внимание в наших опытах уделялось получению ионов тугоплавких материалов (  $W$ ,  $Mo$ ,  $CaCO_3$  ), которые эффективно ионизируются при непрерывном режиме работы электронной пушки. Для ионизации менее тугоплавких материалов (например,  $Zn$ ) был использован импульсный режим питания катода пушки (длительность импульса 1 мсек, частота повторения 100 гц). Во время работы источника в загруженном в коллектор рабочем веществе образовывалось отверстие с диаметром, равным диаметру электронного пучка.

В дальнейшем исследовалось влияние потенциала коллектора  $V_{кол}$  при постоянной мощности пучка электронов  $W'_k < W_k < W''_k$  на условия зажигания и горения разряда. Результаты приведены на рис. 3. Небольшим изменением потенциала коллектора вблизи  $V_{кол} = 0$  можно было значительно влиять на разряд от зажигания при  $V'_{кол} \approx -10$  в до его погасания при  $V''_{кол} \approx +50$  в. Для зажигания разряда при  $V_{кол} < V'_{кол}$  необходимо было увеличивать мощность электронного пучка.

Второй цикл измерений был направлен на определение зарядового состава ионов, извлекаемых из источника. На рис. 4 приведен типичный спектр ионов вольфрама (непрерывный режим,  $W_k = 2,04$  квт,  $B = 6,5$  кгс,  $I_{1\Sigma} = 3$  ма ). Лучшим с точки зрения получения многозарядных ионов является режим, в котором мощность электронного пучка и потенциал коллектора удовлетворяют условиям:  $W'_k < W_k < W''_k$ ,  $V_{кол} \approx 0$  в (см. рис. 2 и 3).

В режиме, при котором  $W_k \geq W''_k$  вплоть до перехода в дуговой разряд, увеличение суммарного вытянутого ионного тока  $I_{1\Sigma}$  обусловлено ростом в основном одно- и двухзарядных ионов. Результаты измерений зарядового состава ионов различных веществ в непрерывном режиме при потенциале коллектора  $V_{кол} = 0$  в приведены в таблице.

Ионы кальция получены при испарении и ионизации  $CaCO_3$  после часового прогрева электронным пучком мощностью  $\approx 1$  квт. Спектр состоит в основном из ионов кальция, ионы примесей (кислород) составляли  $\approx 6\%$  тока  $I_{1\Sigma}$ .

Ионы цинка получены в импульсном режиме; в таблице указаны значения  $I_k$ ,  $V_k$ ,  $I_{1\Sigma}$  в импульсе.

Токи ионов  $Mo^{6+}$ ,  $Mo^{7+}$ ,  $Ca^{5+}$ ,  $Ca^{6+}$  не приводятся, т.к. оценку их величин затрудняет присутствие в спектре ионов кислорода и азота.

### Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что при мощностях электронного пучка  $> 1$  квт и в магнитных полях  $\geq 1$  кгс сравнительно легко можно зажечь разряд в парах металла, полупроводника или диэлектрика, даже если стенки разрядной камеры являются холодными



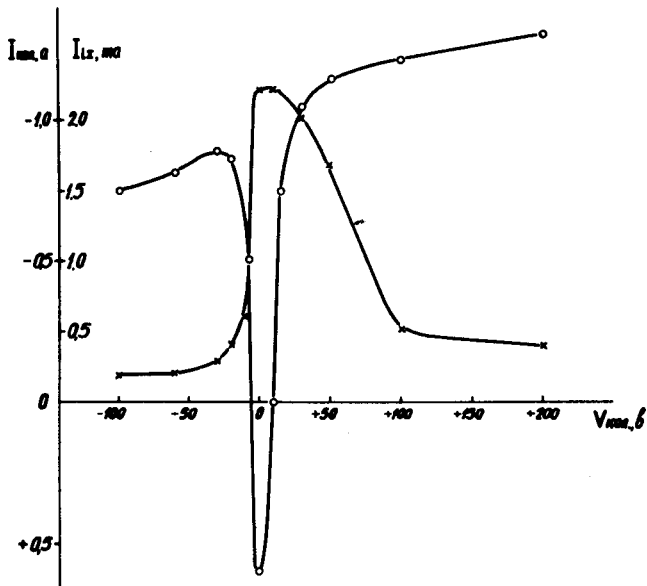


Рис. 3. Влияние потенциала коллектора на режим разряда  $\circ - I_{\text{кол}}$ ,  
 $\times - I_{\Sigma}$ ,  $W_k = 2,8$  квт, рабочее вещество - вольфрам,  $V = 4$  кгс.

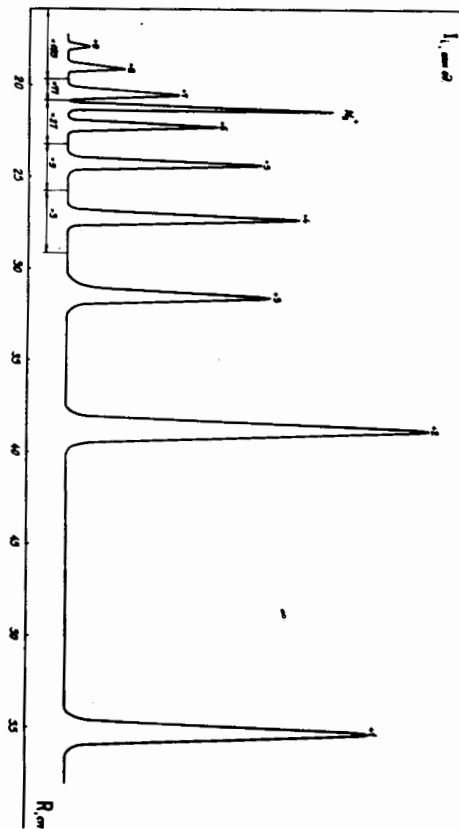


Рис. 4. Спектр ионов вольфрама. По горизонтальной оси отложено расстояние от источника ионов. Для ионов высоких зарядностей указано, во сколько раз увеличена чувствительность регистратора по сравнению с ионами низких зарядностей.

Таблица

Зарядовый состав ионов различных веществ

Элемент	$I_K, a$	$V_K, кВ$	$B, кгс$	$I_{i\Sigma}, mA$	Ток ионов различных зарядностей, $\theta$ % от $I_{i\Sigma}$								
					+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
W	0,85	2,4	6,5	3	37,5	40,5	15	5,36	1,3	0,32	0,09	0,013	0,006
Mo	0,88	2,3	6,5	6	35,6	51,5	10,6	2,1	0,4				
Si	0,72	2,56	4,0	2	71	22	5,9	0,9	0,02				
Ca	0,56	2,28	4,0	3	35,6	56	1,8	0,09					
Zn	11,5	0,9	4,0	130	25,4	62,4	10,7	1,2	0,08	0,004			

и вдоль положительного столба разряда существует значительный градиент концентрации паров рабочего вещества. В извлекаемом из разряда ионном пучке содержится широкий спектр зарядностей, поэтому разработанный источник может использоваться для получения многозарядных ионов. Источник наиболее эффективен для получения ионов тугоплавких материалов.

Геометрия системы играет важнейшую роль в плазменных источниках ионов, поиски оптимальной для плазменно-пучкового разряда геометрии могут привести к существенному усовершенствованию ионного источника. Для дальнейшего усовершенствования, возможно, целесообразным окажется внеосевое расположение электронной пушки и вынос ее за пределы магнитного поля.

В заключение авторы выражают благодарность Е.Д. Воробьеву и А.С. Пасюку за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

#### Л и т е р а т у р а

1. П.М. Морозов, Б.Н. Маков, М.С. Иоффе. Атомная энергия, 2, №3, 272 (1957).
2. А.С. Пасюк, Е.Д. Воробьев, Р.И. Иванников, В.И. Кузнецов, В.Б. Кутнер, Ю.П. Третьяков. Атомная энергия, 28, №1, 75 (1970); Препринт ОИЯИ Р7-4488, Дубна, 1969.
3. Ю.П. Третьяков, А.С. Пасюк, Л.П. Кулькина, В.И. Кузнецов. Атомная энергия, 28, №5 (1970); Препринт ОИЯИ Р7-4477, Дубна, 1969.
4. А.И. Владимиров, Е.Д. Воробьев, В.А. Саенко, Ю.П. Третьяков. Препринт ОИЯИ 13-5157, Дубна, 1970.
5. А.С. Пасюк, Го Ци-Цянь, Ю.П. Третьяков. Препринт ОИЯИ 1523, Дубна, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел

12 февраля 1971 года.